

# Pengaruh Sudut Peletakan dan Sudut Fase Pada Pipa Bersirip Terhadap Penurunan Tekanan

Irpan Saripudin<sup>1</sup>, Kutut Suryoprato<sup>2</sup>, Andang Widi Harto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Fisika FT UGM  
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

<sup>1</sup>saripudinirpan34@yahoo.com

<sup>2</sup>kutut@ugm.ac.id

<sup>3</sup>andang.widiharto@ugm.ac.id

**Intisari**— Dalam instalasi pemipaan seperti instalasi penyediaan air, jalur minyak dan gas, fluida yang mengalir akan mengalami penurunan tekanan (*pressure drop*). Efek penurunan ini akan sangat terasa pada instalasi pemipaan dengan jalur yang sangat panjang. Untuk mengurangi efek tersebut dipertimbangkan penggunaan sirip-sirip kecil pada permukaan dalam pipa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana efek variasi sudut peletakan sirip ( $\alpha$ ) dan sudut fase sirip ( $\beta$ ) terhadap nilai pengurangan hambatan (*drag reduction* – DR). Variasi sudut peletakan adalah 6°, 10°, 14°, 186°, 190°, dan 194°. Variasi sudut fase adalah dari 0° sampai 120° dengan kenaikan sebesar 5°. DR teramati pada sudut peletakan dengan penyimpangan arah yang kecil (6° dan 186°) dengan sudut 6° memberikan DR yang lebih besar, baik dengan penggunaan 1 kubu maupun 2 kubu sirip. DR terbesar 5,73% bisa diraih dengan satu kubu sirip pada sudut peletakan ( $\alpha$ ) 6°. Kubu sirip kedua, dengan beragam sudut fase, tidak tampak memberikan kenaikan efek DR dari sirip kubu di depannya.

**Kata kunci**— aliran pipa, reduksi friksi, sirip, sudut peletakan, sudut fase.

**Abstract**— Fluid flows in water supply pipelines, oil and gas lines will always be accompanied by a drop in pressure. The longer the lines the greater is the drop and the energy consumption due to friction drag. Any effort to reduce this friction will, therefore, contribute to energy conservation. One of such effort is the use of small fins fitted inside the pipe. This study will evaluate the effect of fins fitting angle ( $\alpha$ ) relative to main flow direction and phase angle ( $\beta$ ) between upstream and downstream fins positions to the drag reduction (DR). Angle  $\alpha$  was varied at 6°, 10°, 14°, 186°, 190°, dan 194°, while  $\beta$  was varied from 0° to 120° with equal increase of 5°. It was found that positive DR is observed with small fins fitting angle (6° dan 186°) of which the former give bigger effect. The best DR of 5,73% is observed with 1 set of fins. Each set consisted of 3 fins fitted equally spaced in circumferential direction. The addition of second set of fins downstream, with various phase angle, does not seem to increase DR effect of the first set.

**Keywords**— pipe flow, drag reduction, fins, fitting angle, phase angle.

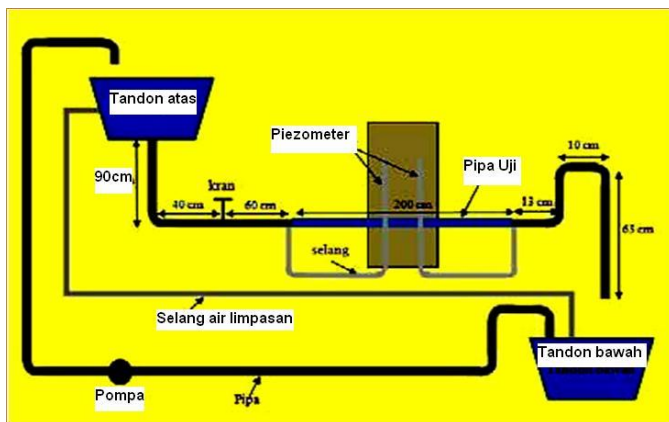
## I. PENDAHULUAN

Penelitian tentang pengurangan hambatan aliran dalam pipa sampai saat ini banyak sekali dilakukan demi efisiensi penggunaan energi. Ada sejumlah metode yang dikenal bisa mengurangi hambatan aliran dalam pipa, yaitu: penambahan polimer liat atau kaku (*rod-like polymer*), penambahan surfaktan, penambahan serat, injeksi gelembung atau gas, pelapisan permukaan dengan bahan hidrofobik, penerapan tegangan listrik, dan pengubahan permukaan (penggunaan *riblet*). Selain metode-metode tersebut, pemasangan sirip-sirip kecil di permukaan dalam pipa juga pernah diteliti dengan hasil yang positif. Sirip merupakan manipulasi permukaan aliran seperti halnya *riblet*. Namun, sirip berbeda dari *riblet* dalam 2 hal. Pertama, *riblet* merupakan struktur teratur yang tersebar di seluruh permukaan kontak aliran, sedangkan sirip hanya di pasang di titik-titik tertentu saja. Kedua, *riblet* berukuran mikrometer, sedangkan sirip berukuran millimeter hingga centimeter bergantung pada ketebalan lapisan batas aliran. Bermula dari gagasan Viktor Schaubberger, Haqiqie [1] membuat kajian numerik untuk geometri sirip sederhana, dan dari belasan variasi yang dibuat diperoleh satu hasil yang positif memberikan efek reduksi friksi. Dari kajian tersebut

juga ditemukan bahwa variabel yang paling berpengaruh terhadap penurunan tekanan adalah tinggi sirip dan sudut peletakan sirip relatif terhadap arah aliran. Hasil ini ditindaklanjuti oleh Maharja [2] dalam pengujian eksperimental dengan hasil yang positif juga. Dengan menggunakan pipa kaca transparan, penelitian Maharja memperlihatkan pola aliran berpusing yang terjadi akibat pengenalan sirip dalam pipa. Pekerjaan lanjutan dilakukan oleh Firmansyah [3] secara numerik sehingga dikenali bahwa model turbulensi k-omega dapat memberikan hasil paling dekat dengan hasil empirik. Namun secara kuantitatif hasil yang diperoleh belum cukup meyakinkan. Sebagai kelanjutan dari pekerjaan ketiga peneliti tadi, maka dilakukan pengamatan eksperimental untuk mengamati lebih jauh pengaruh sirip pada hambatan friksi aliran. Berbeda dari apa yang telah dilakukan oleh Maharja [2] yang dilakukan dalam keadaan tunak semu (*quasi-steady*) dengan satu kubu sirip saja, di sini pengamatan dilakukan dalam keadaan aliran yang tunak (*steady*) dengan satu dan dua kubu sirip (di hulu dan hilir). Penelitian ditujukan untuk memperoleh gambaran pengaruh lebih lanjut dari sudut peletakan tiap kubu sirip dan sudut antarsirip hulu-hilir.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melalui pengamatan terhadap penurunan tekanan pada pipa uji sepanjang 200 cm dalam kondisi aliran tunak (*steady*). Penurunan tekanan dihitung sebagai selisih dari tekanan di hulu dan hilir pipa uji. Besarnya tekanan diukur dengan menggunakan sepasang piezometer yang masing-masing dipasang di hulu dan di hilir pipa uji. Pipa uji terdiri dari 2 macam, yaitu: pipa polos (tanpa sirip) dan pipa bersirip. Penurunan tekanan yang diperoleh dari pengamatan pada pipa bersirip selanjutnya dibandingkan dengan pada pipa polos sebagai acuan (tanpa sirip) dalam aliran tunak dengan menggunakan perangkat penelitian yang terlihat pada Gambar 1. Air yang dipakai dalam penelitian ini adalah air kran. Head penggerak aliran dijaga tetap dengan mengendalikan aras (*level*) air di dalam tandon atas. Dengan tekanan atau head penggerak aliran yang dijaga tetap, maka debit yang terjadi bergantung pada hambatan friksi yang dialami oleh aliran.



Gambar 1. Perangkat penelitian yang dipakai

Data yang dikumpulkan dalam pengamatan adalah penurunan tekanan pada pipa bersirip ( $\Delta P_{sirip}$ ) dan pada pipa polos ( $\Delta P_{polos}$ ) sebagaimana terbaca dari beda ketinggian kolom fluida di kaki-kaki piezometer pada pipa bersirip ( $\Delta H_{sirip}$ ) dan polos ( $\Delta H_{polos}$ ). Data-data yang diperoleh kemudian diolah untuk mendapatkan persentase penurunan hambatan friksi (*drag reduction* – *DR*) oleh sirip menurut rumus:

$$DR = \left(1 - \frac{\Delta P_{sirip}}{\Delta P_{polos}}\right) 100\% = \left(1 - \frac{\Delta H_{sirip}}{\Delta H_{polos}}\right) 100\% \quad (1)$$

Pipa uji memiliki diameter 25 mm dan panjang 2 m. Titik-titik pengukuran dengan manometer dipasang di ujung-ujung pipa uji. Pipa uji terdiri dari 3 macam, yaitu pipa polos, pipa bersirip 1-kubu, dan pipa bersirip 2-kubu. Dalam pipa bersirip dipasang sirip berbentuk segitiga siku berukuran alas 10 mm dan tinggi 2,5 mm (10% diameter pipa). Satu kubu sirip tersusun dari 3 sirip yang dipasang melingkar di dalam pipa dengan jarak sudut angular yang sama. Tiap-tiap sirip di dalam pipa terpasang bukan segaris dengan arah aliran (berarti sama dengan garis sumbu pipa) melainkan membentuk sudut yang kemudian disebut sebagai sudut peletakan sirip.

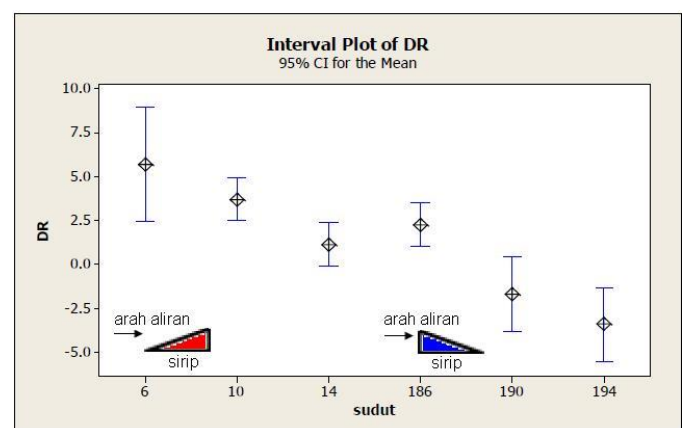
Sudut peletakan sirip bervariasi di dekat 0° (6°, 10°, dan 14°) dan di dekat 180° (186°, 190°, dan 194°). Pada sudut 0°, sirip berada segaris dengan arah aliran (sumbu pipa) dengan ujung lancip segitiga sirip berada di hulu sedangkan ekor (bertepi tinggi) berada di hilir aliran. Kedudukan relatif sirip pada sudut 186°, 190°, dan 194° terhadap arah aliran (atau sumbu pipa) sesungguhnya sama dengan posisi relatif sirip pada sudut 6°, 10° dan 14° yang diputar 180°. Pada sudut 0°, siku segitiga berada di hilir aliran.

Pada pipa bersirip 1-kubu, sirip-sirip dipasang di tengah-tengah pipa uji, sedangkan pada pipa bersirip 2-kubu, masing-masing 1 kubu sirip di pasang di hulu dan hilir titik tengah pipa uji sejauh 15 cm. Jarak kedua kubu adalah 30 cm. Kubu sirip hulu dan hilir tidak harus diletakkan segaris, tetapi bervariasi dari 0° sampai 120° dengan interval pertambahan sudut 5°.

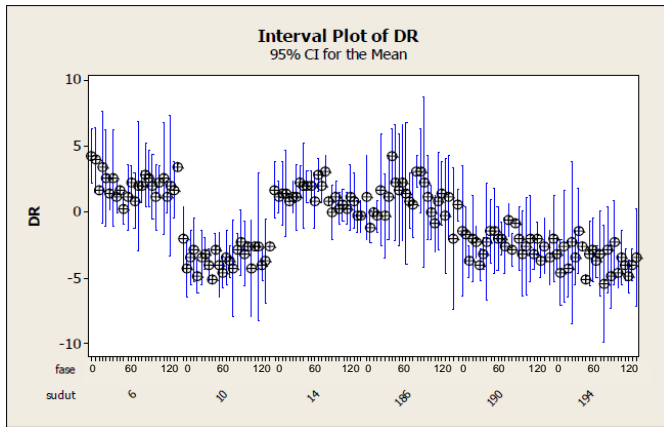
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Keadaan aliran dalam semua pengamatan, baik pada pipa polos, bersirip 1-kubu maupun bersirip 2-kubu, adalah turbulen dengan bilangan Reynolds sekitar 16000. Mengingat jarak masuk aliran hingga terbentuknya aliran berkembang penuh (*entry length*) pada aliran turbulen adalah 60 kali diameter-dalam pipa, maka keadaan aliran di lokasi pemasangan kubu-kubu sirip aliran praktis sudah berkembang penuh. Dalam keadaan berkembang penuh, tebal lapisan batas menjadi sama dengan radius-dalam pipa. Relatif terhadap tebal lapisan batas, tinggi sirip sebesar 2,5 mm adalah sama dengan 20% tebal lapisan batas.

Gambar 2 menyajikan hubungan antara persentase reduksi hambatan *DR* (*drag reduction*) dan sudut peletakan sirip. Gambar tersebut merupakan rangkuman dari hasil pengamatan pada pipa bersirip 1-kubu. Ada 3 hal yang bisa diungkap dari gambar tersebut. Pertama, sudut peletakan bisa berpengaruh positif maupun negatif terhadap *DR*. Kedua, peletakan dengan ekor sirip (bagian tinggi dari sirip) di belakang lebih efektif mengurangi penurunan tekanan daripada peletakan dengan ekor sirip di depan. Ketiga, semakin kecil sudut peletakan, semakin besar pengaruhnya terhadap reduksi hambatan.



Gambar 2. Efek sudut peletakan sirip pada persentase reduksi hambatan friksi (*DR*) pipa bersirip 1-kubu



Gambar 3 Efek sudut peletakan sirip dan sudut fase antarsirip pada persentase reduksi hambatan friksi (DR) pipa bersirip 2-kubu

Kecenderungan hasil serupa juga tampak pada Gambar 3. Gambar tersebut menyajikan rangkuman hasil pengamatan pada pipa bersirip 2-kubu. Dari sini juga tampak bahwa sudut peletakan yang lebih kecil cenderung menghasilkan DR yang lebih besar. Namun, pada gambar tampak anomali di mana pada sudut peletakan  $10^\circ$  DR praktis bernilai negatif – pengaruh sirip alih-alih mengurangi hambatan friksi malah menambahi. Sayangnya, karena keterbatasan data yang dimiliki, gejala tersebut tidak bisa dijelaskan mengapa terjadi.

Hal lain yang bisa diperoleh dari Gambar 3 adalah bahwa penambahan kubu sirip dari 1 menjadi 2 tidak tampak memberikan kenaikan DR. Ini mengarahkan pada pertimbangan kemungkinan adanya jarak pengaruh efektif dari suatu kubu sirip. Penempatan sirip di dalam daerah pengaruh suatu kubu sirip dengan demikian tidak memberikan pengaruh berarti terhadap DR. Gambar 3 juga memberi petunjuk bahwa pengaruh sudut fase antarkubu sirip praktis tidak memberikan pengaruh berarti. Temuan ini masih sulit diyakini terlalu dini sebab bisa saja gejala ini terjadi karena letak kubu sirip hilir berada dalam rentang pengaruh efektif dari kubu hulu. Artinya, bila kubu hilir berada di luar jangkauan pengaruh kubu hulu bisa jadi sudut fase antarkubu sungguh memiliki pengaruh terhadap DR. Oleh karena itu diperlukan penelitian lanjut untuk mengungkap besarnya jarak pengaruh efektif dari suatu kubu sirip.

Penelitian lanjut yang lebih halus juga layak dilakukan untuk menentukan ukuran tinggi sirip (relatif terhadap ketebalan lapisan batas) yang efektif mengurangi hambatan aliran. Hal ini menarik untuk dikaji karena sejumlah kajian tentang metode reduksi hambatan friksi menggunakan metode lainnya (yaitu penambahan polimer dan penggunaan riblet) menunjukkan peran penting dari lapisan penyangga (*buffer layer*). Lapisan penyangga, dalam profil kecepatan universal aliran fluida Newton, berada di antara sublapisan viskos atau turbulen (*laminar/viscous sublayer*) dan teras turbulen (*turbulent core*).

Mekanisme pengurangan hambatan friksi oleh polimer telah banyak diteliti. Larutan polimer ditemukan berperan di dalam lapisan penyangga. Untuk larutan polimer telah ditemukan adanya daerah pengantara yang disebut sublapisan

elastik (*elastic sublayer*) Dalam kasus ini profil kecepatan teras turbulen memperlihatkan pergeseran paralel. Semakin besar tingkat pengurangan hambatan semakin besar pergeseran paralel akibat penebalan sublapisan elastik. Pada DR maksimum terjadi gejala meluasnya sublapisan elastik sampai ke garis tengah sehingga teras turbulennya sirna. Dalam sublapisan elastik, produksi dan disipasi turbulensi mencapai maksimumnya. Penambahan polimer meluaskan sublapisan elastik dan memindahkan lokasi produksi dan disipasi terbesar menjadi lebih ke tengah pipa sejalan dengan peningkatan pengurangan hambatan [4].

Penyelidikan struktur medan aliran turbulen untuk mengungkap mekanisme pengurangan hambatan di atas riblet telah juga banyak dilakukan. Suzuki dan Kasagi [5] telah membandingkan statistik ketiga komponen kecepatan di atas riblet dan di atas dinding halus hasil pengukuran dengan PTV (*Particle Tracking Velocimetry*) 3-D. Hasilnya, dalam keadaan pengurangan-hambatan diperoleh bahwa semua fluktuasi kecepatan turbulen dan tegangan geser Reynolds di dekat permukaan riblet berkurang, walaupun karakteristik aliran dalam kebanyakan medan aliran sangatlah mirip dengan di atas dinding halus. Selain itu, mekanisme redistribusi energi kinetik turbulen dari komponen searah arus ke komponen selintang arus dalam daerah di atas lembah riblet banyak berkurang. Ini akan meningkatkan transport momentum dan mengurangi efek pengurangan-hambatan dari riblet.

Oonari [6] dengan teknik visualisasi menggunakan pewarna fluoresen yang dieksitasi oleh lembaran cahaya laser argon untuk kasus aliran dengan bilangan Reynolds rendah memperlihatkan bertambah tebalnya sublapisan viskos di atas riblet. Selain itu, watak sepasang pusaran kecil searah arus yang terbentuk di sudut riblet segitiga memainkan peranan penting dalam pengurangan hambatan turbulensi dekat dinding.

Walaupun berbeda-beda metode, namun hasil dari berbagai kajian tersebut menunjukkan bahwa pengurangan gaya hambat aliran dengan beragam metode beda tersebut sama-sama gejala lapisan batas. Dengan peralatan eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini sayangnya tidak memungkinkan dilakukan pengamatan pada lapisan batas. Oleh karena itu, terkait dengan metode penggunaan sirip, diperlukan penelitian lebih lanjut yang terkait dengan penentuan ukuran sirip yang paling efektif relatif terhadap tebal lapisan batas dan dengan penentuan daerah pengaruh efektif dari suatu kubu sirip terhadap DR. Lebih dari itu, penelitian lanjut juga perlu diarahkan pada pengungkapan mekanisme yang memungkinkan terjadinya DR oleh sirip.

#### IV. PENUTUP

Sudut peletakan memegang peranan penting terhadap DR pada pipa menggunakan sirip. Sudut yang lebih kecil memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap DR. Sudut fase antarsirip tidak ditemukan memperlihatkan kontribusi pengaruh yang jelas. Ini terjadi karena variasi nilainya lebih besar daripada pusat nilainya. Hal ini menunjukkan perlunya

pengamatan lebih lanjut dengan penyempurnaan rancangan perangkat eksperimen beserta alat-alat ukurnya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dihaturkan kepada Pak Budiyo selaku laboran di Laboratorium Energi Terbarukan yang telah banyak membantu penyiapan teknis dari perlengkapan eksperimen dan pengukuran.

#### REFERENSI

- [1] R.A. Haqiqie, "Simulasi pengaruh penambahan sirip terhadap penurunan tekanan aliran dalam pipa dengan menggunakan software Fluent," Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2008.
- [2] T.H. Maharja, "Pengaruh penambahan sirip pada aliran fluida dalam pipa," Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2009.
- [3] D. Firmansyah, "Analisa pola aliran pada pipa bersirip dengan menggunakan software Fluent 6.2.16," Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2009.
- [4] A. Gyr & H.W. Bewersdorff, "Drag reduction of turbulent flows by additives," *Fluid Mechanism and it applications*, 32, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, the Netherlands, 1995.
- [5] Y. Suzuki, N. Kasagi, "Turbulent drag reduction mechanism above a riblet surface", *AIAA Journal*, Vol. 32, No. 9, pp. 1781-1790, 1994.
- [6] H. Onari, "Drag reduction mechanism and coherent structure in near wall turbulent with riblets," in *Proc. of the 7th and 8th NAL Workshops on Investigation and Control of Boundary Layer Transition*, pp. 81-84 (SEE N93-16809 05-34), Sept.1991.